鱼藤属植物优异物种筛选及引种栽培研究

潘燕林，郭伦发*，王新桂，娄树茂，张怡彬，秦洪波

（广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所，广西壮族自治区 桂林 541006）

摘要：鱼藤属（*Derris* Lour.）植物在我国的主要分布区为西南部地区，是生物农药鱼藤酮的主要原料来源物种，开发利用前景广阔。为了挖掘鱼藤酮含量高、农艺性状优异的种质资源，促进鱼藤属植物栽培和鱼藤酮产业的发展，该文通过对中国南部及越南进行资源调查，收集了 14 种鱼藤属植物并测定其鱼藤酮含量，重点对 2 个鱼藤酮高含量物种开展种苗繁育与人工栽培技术研究。结果表明：（1）获得的 14 种鱼藤属植物都能在桂林市成功种植，鱼藤酮含量较高的物种为毛鱼藤（*Derris elliptica*）和异翅鱼藤（*Derris montana*）。（2）两个优势物种的扦插育苗成活率均达到 95%以上；鱼藤酮在根部积累最高，其中粗根中含量高于须根，木质部含量高于韧皮部。（3）毛鱼藤鱼藤酮含量最高达到 14.12%，异翅鱼藤的鱼藤酮含量最高达到 6.75%；两个物种鱼藤酮含量均随季节变化而波动，从春季植株萌发期开始快速上升，之后均能维持在较高水平。综上，毛鱼藤具备很高的开发利用价值；异翅鱼藤生长更迅速、产量更高，也具备较高的开发利用价值。

关键词：鱼藤属，鱼藤酮，毛鱼藤，异翅鱼藤，引种栽培

中图分类号： **文献标识码：**A **文章编号：**

Screening the excellent species of *Derris* genus and studies on its induction and cultivation

PAN Yanlin, GUO Lunfa*, WANG Xingui, LOU Shumao, ZHANG Yibin, QIN Hongbo

（*Guangxi Institute of Botany, Guangxi Zhuang Autonomous Region and Chinese Academy of Sciences*, Guilin, 541006, Guangxi, China）

Abstract: Widely distributed in southwest China, *Derris* Lour. has a promising development and utilization value as raw material source of biopesticide rotenone. In order to explore germplasm resources with high rotenone content and excellent agronomic traits, promote the cultivation of *Derris* and the development of rotenone industry, we collected 14 *Derris* species and measured their rotenone content through a resource survey in south China and Vietnam, focused on seedling breeding and artificial cultivation technology for two high-rotenone content *Derris* species. The results were as follows: （1）All 14 *Derris* species could be successfully grown in Guilin, and the high-rotenone content *Derris* species including *Derris elliptica* and *Derris montana* were selected for further research; （2）Both of the cutting survival rate of the two *Derris* plants reached more than 95%; the rotenone was mainly concentrated in plants root, rotenone content of thick roots was higher than that of thin roots, rotenone content in the xylem was higher than that in the

基金项目：广西科技基地和人才专项基金（桂科 AD21220130）；广西喀斯特植物保育与恢复生态学重点实验室开放基金（20-065-7）；广西植物研究所业务费（桂植业 21014）[Supported by Guangxi Science and Technology Base and Talent Special Fund (AD21220130); Guangxi Key Laboratory of Plant Conservation and Restoration Ecology in Karst Terrain (20-065-7) ; Guangxi Institute of Botany Fund (21014)].

第一作者：潘燕林(1986-)，博士，副研究员，主要从事特色经济植物重要性状功能基因研究，（E-mail）panyanlinll@163.com。

*__通信作者：__郭伦发，硕士，副研究员，主要从事特色经济植物的研究与利用，（E-mail）37623630@qq.com。

phloem; （3）the highest rotenone content reached 14.12% for *D. elliptica* and 6.75% for *D. montana*, rotenone content of the two *Derris* plants were fluctuated with the seasons, rised rapidly from the sprouting period of the plants in spring and maintained at high levels thereafter. All these results showed that *D. elliptica* has high exploitation value, *D. montana* with more rapidly growth and higher yield compared with *D. elliptica*, also has high exploitation value.
Key words: *Derris* Lour., rotenone, *Derris elliptica*, *Derris montana*, introduction and cultivation

鱼藤属（*Derris* Lour.）隶属于豆科蝶形花亚科，是生物农药鱼藤酮（Rotenone）的主要原料来源，全世界有 70 种，我国有 25 种及 2 变种（韦直，1994），广西是我国鱼藤属植物最多的省区，分布有 14 种及 2 变种（韦裕宗，2005）。鱼藤酮是三大传统的植物杀虫剂之一，研究表明，鱼藤酮对 15 个目 137 科的 800 多种害虫有杀虫作用，且分解代谢快速、对人畜安全，广泛应用于果树、粮食、蔬菜、鱼类养殖等产业（李颖和王朱莹，2010；Biñas Jr, 2021）；与鱼藤酮具有相同分子量的鱼藤素则可被利用于癌症治疗（Wang et al., 2013）。研究者通过持续性、高剂量的鱼藤酮处理小鼠，获得了类似帕金森疾病的症状，使得鱼藤酮在帕金森疾病研究中发挥重要作用（Radad et al., 2019）。人们对于鱼藤酮毒性的风险也早有关注，已针对鱼藤酮的半衰期、残留情况等进行实验检测，评价其应用风险，为鱼藤酮杀虫剂的安全施用提供了参考（王世英，2016；Radad et al., 2019）。

目前，生产上仍主要依靠从毛鱼藤等植物中提取获得鱼藤酮。早在上世纪 50 年代，国内就曾开展过鱼藤属植物的人工种植和开发利用，当时在广西、广东、海南等省区均有大面积的种植基地（任明道，1953）。化学农药大量推广使用的冲击下，生物农药的发展受到挤压，自 20 世纪 60 年代以来，鱼藤属植物的栽培推广及科学研究关注度一直都很低，关于鱼藤属植物及其代谢产物的科研工作多集中在物种进化、分类（吴斌，2010；Li & Geng, 2015；Asib & Omar, 2018），代谢产物的提取、分离及效用评价（张庭英等，2005；Wang et al., 2013；Wu et al., 2019）等方面，对鱼藤属的资源调查、种质收集、良种选育、品种创新和人工栽培等方面的研究相对匮乏。

中国数字植物标本馆（CVH）在 1920 至 2019 年间的鱼藤属植物标本数据显示，近期标本所记录的鱼藤属物种数量呈现减少的趋势，约有 1/3 的物种在近 20 年的采集记录中均未出现。土地开发及环境变化严重威胁了鱼藤属植物资源，开展该属植物的资源调查及物种保存工作迫在眉睫。近几十年来，我国生物农药鱼藤酮产业的发展一直停滞不前，甚至越来越衰落，其主要原因是受制于原材料短缺，而深层次原因则是缺乏高产高含量的优良品种和配套的技术规范。广西是我国野生鱼藤属植物的主要分布区，广西大部分地区的气候和土壤均适合鱼藤属植物的生长，在鱼藤属植物资源调查和引种栽培方面具有一定的地域优势。该文在广西及周边地区开展鱼藤属植物资源调查，通过物种收集、引种栽培、生长情况调查及鱼藤酮含量测定等研究，拟探讨以下问题：（1）广西及周边地区鱼藤属植物的种类和分布情况；（2）鱼藤属植物引种表现及优势栽培种的筛选；（3）优势栽培种的种苗繁殖、生长情况和鱼藤酮积累规律。通过以上的研究，以期为鱼藤酮产业的发展提供种源和技术支撑，为鱼藤属植物资源的保护与开发利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查方法

查阅《中国植物志》、《广西植物志》、期刊论文等文献资料，结合中国数字植物标本馆（CVH）检索的鱼藤属植物标本数据，分析鱼藤属植物的种类和分布。根据文献和标本数据信息，规划和设计野外调查路线，采取线路调查、定点调查、重点区域普查和民间走访

调查相结合的方式进行调查。对于有卫星定位坐标的直接到点调查；对于只记录有县乡村级位置信息的，结合民间走访，对该重点区域进行普查。分别记录物种名称、生境、土壤、植被、生物学特性、坐标、海拔等信息，采集植物标本，同时采集植物根样品进行鱼藤酮含量检测，采集植物活体材料进行引种栽培。

1.2 试验地概况

试验地设在广西壮族自治区桂林市雁山区广西植物研究所内，地处北纬 25° 01′，东经 110° 17′，海拔 150 m，属中亚热带季风气候，年平均气温 19.2℃，1 月平均气温 8-9℃，7 月年平均气温 27-29℃，极端最高温 39℃，极端最低温-4.2℃，一般年份年最低温在 0℃以上，年平均降雨量约 1800 mm，年平均日照 1473 hr，年平均无霜期 309 天，年平均相对湿度 78%。土壤为粘性黄壤，pH 值 6-7。

1.3 试验方法

1.3.1 品种引种与筛选

鱼藤属植物引种栽培采用枝条扦插法。在资源调查时，将 14 种鱼藤属植物的木质化枝条剪下，分割成 15-20 cm 的长条，喷水保湿后用密封袋包裹置于低温盒中保存；同时取足够量的根密封保存用于鱼藤酮含量测定。回到实验基地后，将枝条于 300 mg • L^{-1} ADT 生根粉溶液中浸泡 5 min, 枝条的一头（1/2）斜插入土里，待嫩叶及根须长出后，移栽至大田进行种植。起畦栽培，畦宽（含沟）1 m，每畦种植 2 行，株行距 0.4 m×0.5 m。在各个时期对植株生长情况（主要包括开花结实情况、是否常绿、越冬受冻害的情况）进行观察和记录。通过实地调查、鱼藤酮含量测定及引种栽培观察结果，筛选鱼藤酮含量高，植株生长旺盛、适应性广的优势物种作为重点研究对象，开展种苗繁育和人工栽培技术研究。

1.3.2 栽培试验

于 2020 年春对筛选出的毛鱼藤（*D. elliptica*）和异翅鱼藤（*D. montana*）进行栽培试验。异翅鱼藤的定植时间为 2020 年 3 月，毛鱼藤的定植时间为 2020 年 5 月。起畦栽培，畦宽（含沟）1 m，每畦种植 2 行，株行距 0.4 m×0.5 m，每亩种植 3333 株，常规管理。种植第一年调查植株地上部分的生长情况，测定株高、主分枝数、地茎直径等指标，结果取 3 株材料的平均值；2021 年调查地下部分的生长情况，从 2 月份开始至第二年 1 月份，每月定期取 3 株材料测定主根条数、根干重等指标，并检测根干粉中的鱼藤酮含量。另外，以栽培后的毛鱼藤和异翅鱼藤不同生长时期的茎为材料，参照品种引种时的方法开展扦插育苗实验，于扦插 2 个月后统计出苗数，计算扦插成活率。

1.3.3 鱼藤酮含量测定

资源调查时，根据调查地点的植株生长情况取样（只存在单株时取单株，有多株时取多株材料的根混合样），密封避光保存；在实验基地栽培时，每隔一个月分别取毛鱼藤和异翅鱼藤 3 株苗的根混样作为检测材料。对采集到的根进行截断，70℃烘箱 10 h 烘干后用磨样机粉碎过 60 目筛，每个样品取 10 g 干粉交由广西桂林锐德检测认证技术有限公司，通过高效液相色谱进行鱼藤酮含量的定量测定（数值为 2 次技术重复的平均值）。

2 结果与分析

2. 1 14 种鱼藤属植物资源状况及引种表现

2019 年至 2021 年期间，笔者对广西全境以及广东、贵州和越南的少部分地区展开了鱼藤属植物的资源调查，共鉴定鱼藤属植物 14 种，其中 11 种采自广西，2 种采自越南，1 种

采自广东；毛鱼藤和异翅鱼藤为栽培种，其余为野生种（表 1）。调查结果显示，中南鱼藤（*D. fordii*）为广布种，在广西、广东、贵州均有发现；亮叶中南鱼藤（*D. fordii* var. lucida）广泛分布于广西的岩溶区；云南鱼藤（*D. yunnanensis*）在广西部分岩溶区分布有较多的种群数量；其他物种较少见，常以多年生的单株形式存在。

在资源调查时，采集鱼藤属植物的枝条进行扦插繁殖，成活后种植于广西植物研究所实验基地，其中 11 个物种于 2020 年春种植，3 个物种于 2021 年春种植，对这 14 个物种的生长情况进行了持续观察。从表 1 结果可以看出，白花鱼藤（*D. alborubra*）、黔桂鱼藤（*D. cavaleriei*）、中南鱼藤、亮叶中南鱼藤、边荚鱼藤（*D. marginata*）、大叶东京鱼藤（*D. tonkinensis* var. compacta）、云南鱼藤和东京鱼藤（*D. tonkinensis*）在桂林冬季不落叶，不盖膜或者简易盖膜即可越冬；鱼藤（*D. trifoliata*）、毛鱼藤和异翅鱼藤表现为落叶，需要盖膜保温才能越冬，且简易盖膜植株的地上部分也会受冻伤；毛果鱼藤（*D. eriocarpa*）、锈毛鱼藤（*D. ferruginea*）和大叶鱼藤（*D. latifolia*）为 2021 年引种，还未能观察到落叶及越冬情况。收集到的鱼藤属植物中除中南鱼藤已结实，其余植物均未结实。将鱼藤属植物原生地的观察与引种栽培结果相结合，证实了鱼藤属植物有性繁殖能力普遍较低，在野外难以实现自然繁殖更新。绝大部分物种都能通过枝条扦插繁殖成功，在人工育苗种植方面具备优势。

鱼藤酮含量检测结果表明，引自广东丰顺县的毛鱼藤和引自越南的异翅鱼藤都具有较高的鱼藤酮含量，可作为备选物种开展进一步的引种栽培研究。而 12 个野生种的鱼藤酮含量都很低，其中黔桂鱼藤、锈毛鱼藤、大叶鱼藤和边荚鱼藤根中检测不到鱼藤酮含量；另外，同种鱼藤属植物不同地点材料的鱼藤酮含量存在差异，推测植物的生长环境及材料的取样时期都会影响鱼藤酮的积累。从检测结果可以看出，毛鱼藤和异翅鱼藤具有在广西种植推广的潜力，其他物种的利用价值重点不在鱼藤酮含量上，而应该更多的关注其他次生代谢产物的应用潜力。

表 1 14 种鱼藤属植物在桂林市引种栽培的主要生物学特性

Table 1 Biological characteristics of 14 *Derris* species cultivated in Guilin

物种名称 Species	引种地点 Plant introduction location			干根粉鱼藤酮含量(%) Rotenone content in dry root (%)	生物学性状 Biological characteristics	越冬情况 Overwintering condition
	国家 Country	省区 Province	市县（标本号） City（Specimen）			
白花鱼藤 *D. alborubra*	中国 China	广西 Guangxi	东兴(YT013)、南宁(YT020) Dongxing (YT013), Nanning (YT020)	0-0.028	未见开花，常绿 Flowering was not observed, plants were evergreen	盖膜，未冻伤 Covered with plastic film, not frostbitten
黔桂鱼藤 *D. cavaleriei*	中国 China	广西 Guangxi	天峨(YT018)、那坡(YT029)、龙州(YT037) Tian'e (YT018), Napo (YT029), Longzhou (YT037)	0	未见开花，常绿 Flowering was not observed, plants were evergreen	露天，嫩叶受冻伤 Open air, young leaves were frostbitten
毛鱼藤 *D. elliptica*	中国 China	广东 Guangdong	丰顺(YT045) Fengshun (YT045)	5.99-8.09	6 月开花，1 月初落叶 Flowering was observed in June, leaves drop was observed in	盖膜，地上枝条 50%冻死，地下 15%冻死 Covered with plastic film, 50% branches were frozen to death, 15% roots were frozen to death

					early January	
毛果鱼藤 *D. eriocarpa*	中国 China	广西 Guangxi	龙州(YT038) Longzhou (YT038)	0.002	6-10 月开花，常绿 Flowering was observed from June to October, plants were evergreen	2021 年春种植，尚未越冬 Planted in spring 2021, not yet overwintered
锈毛鱼藤 *D. ferruginea*	中国 China	广西 Guangxi	靖西(YT031) Jingxi (YT031)	0	-	2021 年春种植，尚未越冬 Planted in spring 2021, not yet overwintered
中南鱼藤 *D. fordii*	中国 China	广西 Guangxi	桂林(YT002) 、灵川(YT008)、临桂(YT050) Guilin (YT002), Lingchuan (YT008), Lingui (YT050)	0.088-0.22	4-6 月开花，常绿 Flowering was observed from April to June, plants were evergreen	露天，未冻伤 Open air, plants were not frostbitten
		广东 Guangdong	连南(YT001)、蕉岭(YT044) Liannan (YT001), Jiaoling (YT044)			
		贵州 Guizhou	荔波(YT034) Libo (YT034)			
亮叶中南鱼藤 *D. fordii* var. lucida	中国 China	广西 Guangxi	凌云(YT017)、天峨(YT019)、大新(YT021)、靖西(YT030)、凭祥(YT033)、龙州(YT040)、柳州(YT042) 、那坡(YT053) Lingyun (YT017), Tian'e (YT019), Daxin (YT021), Jingxi (YT030), Pingxiang (YT033), Longzhou (YT040), Liuzhou (YT042), Napo (YT053)	0-0.007	未见开花，常绿 Flowering was not observed, plants were evergreen	露天，嫩叶受冻伤 Open air, young leaves were frostbitten
	越南 Vietnam	海防 Haiphong	吉婆岛(YT006) Cát Bà (YT006)			
大叶鱼藤 *D. latifolia*	中国 China	广西 Guangxi	大新(YT022)、龙州(YT023) Daxin (YT022), Longzhou (YT023)	0	-	2021 年春种植，尚未越冬 Planted in spring 2021, not yet overwintered
边荚鱼藤 *D. marginata*	中国 China	广西 Guangxi	凌云(YT015) Lingyun (YT015)	0	未见开花，常绿 Flowering was not observed, plants were evergreen	露天，嫩叶受冻伤 Open air, young leaves were frostbitten
异翅鱼藤 *D. montana*	越南 Vietnam	平阳 Binh Duong	平阳(YT003) Binh Duong (YT003)	4.67	未见开花，1 月初落叶 Flowering was not observed, leaves drop was observed in	盖膜，地上枝条 30%冻死，地下全部成活 Covered with plastic film, 30% branches were frozen to death, all the roots were survived

					early January	
东京鱼藤 *D. tonkinensis*	越南 Vietnam	海防 Haiphong	吉婆岛(YT004) Cát Bà (YT004)	0.0083*	未见开花，常绿 Flowering was not observed, plants were evergreen	盖膜，嫩叶受冻伤 Covered with plastic film, young leaves were frostbitten
大叶东京鱼藤 *D. tonkinensis* var. *compacta*	中国 China	广西 Guangxi	龙州(YT035、YT036) Longzhou (YT035, YT036)	0.01-0.027	未见开花，常绿 Flowering was not observed, plants were evergreen	露天，嫩叶受冻伤 Open air, young leaves were frostbitten
鱼藤 *D. trifoliata*	中国 China	广西 Guangxi	东兴(YT011) Dongxing (YT011)	0.092	未见开花，1 月中旬落叶 Flowering was not observed, leaves drop was observed in mid-January	盖膜，受冻伤 Covered with plastic film, plants were frostbitten
云南鱼藤 *D. yunnanensis*	中国 China	广西 Guangxi	凌云(YT014)、那坡(YT026) Lingyun (YT014), Napo (YT026)	0.019-0.023	9 月开花，常绿 Flowering was observed in September, plants were evergreen	露天，极少嫩叶受冻伤 Open air, very few young leaves suffered from frostbite

注：“*”表示引种栽培后的鱼藤酮含量；“-”表示无数据。

Note: “*”represents the rotenone content after introduction and cultivation; “-”indicates no data.

2. 2 两个优势物种的栽培状况对比分析

2.2.1 毛鱼藤和异翅鱼藤的扦插育苗状况

在鱼藤属植物资源调查阶段，考察了各物种的鱼藤酮含量及生物量等性状，初步选定毛鱼藤和异翅鱼藤 2 个优势物种进行后续栽培实验。毛鱼藤与异翅鱼藤原产于东南亚和马来群岛（Zhang et al., 2020），在我国广东省和海南省有栽培及半野生种的分布（Sae-Yun et al., 2006; Li & Geng, 2015）。该文以 2 种鱼藤属植物不同生长期的枝条为材料，进行了扦插繁殖实验。从表 2 结果可以看出，随着枝条的老化（2 至 8 个月），毛鱼藤枝条扦插成活率不断提高；异翅鱼藤的扦插成活率基本不受枝条老化的影响，嫩枝和老化枝条的扦插成活率基本一致。2 种植物的扦插成活率最高都可以达到 95%以上，有利于进行植株的扩繁。

表 2 两种鱼藤属植物的扦插育苗状况

Table 2 Propagation by branch cuttings of the two *Derris* plants

物种名称 Species	扦插日期 Cutting propagation date	枝条类型 Branches type	成活率 Survival rate (%)	备注 Note
毛鱼藤 *D. elliptica*	20200320	8 月龄以上老化枝沙藏越冬，春季扦插	96.03	300 mg·L^{-1} ADT 浸泡 5 min

		Branches above 8 months old were overwintered by sand storage and propagated by cuttings in spring		Branches were immersed in 300 mg·L^{-1}ADT solution for 5 min, and then for cutting
	20210708	当年生嫩枝（2~3 个月）Young branches of the current year (2-3 months old)	71.46	直接扦插 Direct cutting without treatment
	20210815	当年生嫩枝（3~4 个月）Young branches of the current year (3-4 months old)	73.68	直接扦插 Direct cutting without treatment
	20210918	当年生嫩枝（4~5 个月）Young branches of the current year (4-5 months old)	84.23	直接扦插 Direct cutting without treatment
异翅鱼藤 *D. montana*	20200910	当年生嫩枝（4~5 个月）Young branches of the current year (4-5 months old)	95	直接扦插 Direct cutting without treatment
	20210224	8 月龄以上老化枝沙藏越冬，春季扦插 Branches above 8 months old were overwintered by sand storage and propagated by cuttings in spring	95.13	300 mg·L^{-1} ADT 浸泡 5 min Branches were immersed in 300 mg·L^{-1} ADT solution for 5 min, and then for cutting

2.2.2 毛鱼藤和异翅鱼藤的生长及鱼藤酮组织积累模式

在两种鱼藤属植物种植第一年的生长期内，调查了植株地上部分的生长情况。从表 3 可以看出，这两种植物的地上部分生长迅速，经过不到 5 个月的生长期，株高、分枝数和地茎都大幅增长。从外观形态上看，这两种植物在广西植物研究所实验基地生长旺盛、长势良好，异翅鱼藤比毛鱼藤分枝更多，地茎更粗壮。由于不耐霜冻，在种植的第一年冬天对地上部分进行了修剪，只保留地下部分过冬，所以第二年的地上部分生长情况与第一年的调查结果无连续性，故第二年只调查了植株的地茎。从结果可以看出，经过 2 年左右的生长，毛鱼藤和异翅鱼藤的地茎都得到大幅增加。

表 3 鱼藤属植物地上部分生长状况

Table 3 Above-ground parts growth condition of the two *Derris* plants

检测时间 Testing time	毛鱼藤 *D. elliptica* 生长期 Growth stage (month)	株高 Plant height (m)	主分枝数 Main branch	地茎 Stem dia meter (cm)	异翅鱼藤 *D. montana* 生长期 Growth stage（month)	株高 Plant height (m)	主分枝数 Main branch	地茎 Stem diam eter (cm)
20200709	2	0.55	1.2	0.66	4	0.58	3.8	1.05
20200905	4	1.6	3.1	1.7	6	1.86	7.2	1.5
20201010	5	3.18	3.2	1.73	7	2.11	7.6	1.93
20201215	7	3.28	4	1.96	9	2.26	7.6	1.99
20211108	18	—	—	2.78	20	—	—	3.58

注：- 表示未检测数据。下同。

Note: - indicates no test data. The same below.

次生代谢产物在植物器官中的积累具有组织特异性，前人检测结果也证实鱼藤属植物的不同器官中鱼藤酮的积累具有差异性。该文对毛鱼藤和异翅鱼藤植株的不同部位进行了鱼藤酮含量的测定，分析了其积累模式。从表 4 的结果可以看出，鱼藤酮在毛鱼藤的根中含量最高，在叶中次之，在茎中最低；将毛鱼藤根（商品）细分为根头（靠近地面的根茎结合部）、粗根（直径≥3 mm）及须根（直径＜3 mm）进行测定，结果显示鱼藤酮在根头中含量很低，在粗根中含量最高，在须根中含量次之；进一步对毛鱼藤的粗根进行分离，获得其木质部和韧皮部进行检测，结果显示鱼藤酮在木质部中的含量高于韧皮部。对异翅鱼藤的检测结果显示，鱼藤酮在其根中含量最高，在叶中含量次之，在茎中含量最低，与毛鱼藤中的积累趋势一致（表 4）。通过该实验，明确了鱼藤酮在 2 种栽培植物不同器官中的积累模式，该结果可作为指导种植区采收和企业收购原材料的依据，采收和销售时应尽量避免掺入根头，以保证加工企业能够获得较高鱼藤酮含量的原料；另外，也为鱼藤酮的生物合成调控机制研究提供了参考。基于以上研究结果，之后的研究及检测也都聚焦于植株的根部。

表 4 鱼藤酮在鱼藤植物各部位的积累特性

Table 4 Rotenone accumulation pattern of the two *Derris* plants

物种名称 Species	样品批次 Sample batch	根 Root (%)	茎 Stem (%)	叶 Leaf (%)	根头 Top root (%)	粗根 Thick root (%)	须根 Thin root (%)	木质部 Xylem (%)	韧皮部 Phloem (%)
毛鱼藤 *D. elliptica*	20200319	—	—	—	0.82	5.99	4.46	—	—
	20210723	—	—	—	—	—	—	9.26	6.01
	20211108	11.78	0.013	0.026	—	—	—	—	—
异翅鱼藤 *D. montana*	20211108	6.11	0.024	0.089	—	—	—	—	—

2.2.3 毛鱼藤和异翅鱼藤的鱼藤酮含量随生长期的变化规律

为了研究 2 种鱼藤属植物根中鱼藤酮含量的变化规律，从栽培第二年的 2 月份起，每月定期调查了植株根生长情况和鱼藤酮含量。从表 5 可以看出，异翅鱼藤的主根条数明显高于毛鱼藤，根生物量也高于毛鱼藤；而毛鱼藤根的鱼藤酮含量显著高于异翅鱼藤。从鱼藤酮含量的变化趋势上看，鱼藤酮含量随着季节变化呈现波动，在地上部分萌动抽芽生长阶段

（2021.03-2021.05）上升最快，毛鱼藤由 7.33%上升至 13.98%；异翅鱼藤由 2.68%上升至 4.39%；之后 2 个物种的鱼藤酮含量都呈现出相对稳定的小幅波动，一直维持在较高水平。综上，异翅鱼藤生长旺盛，主根条数、根生物量均较高，而鱼藤酮含量相对较低；毛鱼藤的主根条数、根生物量较低，而鱼藤酮含量更高。在桂林地区栽培，两种植物各具种植优势。

表 5 两种鱼藤属植物的根生长情况及鱼藤酮含量

Table 5 Root growth and rotenone content of the two *Derris* plants

检测时间 Testing time	毛鱼藤 *D. elliptica*				异翅鱼藤 *D. montana*			
	生长期 Growth stage (month)	主根条数 Main root	根干重 Root dry weight (g)	鱼藤酮含量 Rotenone content (%)	生长期 Growth stage (month)	主根条数 Main root	根干重 Root dry weight (g)	鱼藤酮含量 Rotenone content (%)
20210204	9	—	—	7.73	11	—	—	—
20210309	10	7	22.66	7.33	12	10	45.26	2.68
20210409	11	12	36.84	10.91	13	11	34.74	2.79
20210508	12	8.7	33.30	13.98	14	14	48.63	4.39
20210608	13	9.3	38.04	14.12	15	20	47.05	5.68
20210708	14	8	34.71	11.48	16	16	41.05	4.64
20210808	15	9	36.00	13.43	17	13	50.21	5.98
20210908	16	8	40.76	13.48	18	13	88.00	6.75
20211008	17	7.7	32.67	11.05	19	11	58.24	5.06
20211108	18	6	35.52	11.78	20	13	70.84	6.11
20211208	19	7	40.57	10.93	21	12	74.29	4.50
20220108	20	8	42.10	13.98	22	13	75.78	5.47

注：部分植株的根部在越冬时受冻害影响，导致主根条数和根干重存在较大差异性。

Note: The roots of some plants were affected by freezing during overwintering, resulting in a large variability in the number of main root and root dry weight.

3 讨论与结论

笔者对广西及其周边地区（贵州、广东、越南等）进行了鱼藤属植物种质的系统收集，获得了 14 个物种的植物资源。相较于张庭英（2006）的调查结果，本次资源收集没有获得粉叶鱼藤（*D. glauca*）和密锥花鱼藤（*D. thyrsiflora*），推测可能是生境遭到破坏或标本地理位置没有精确定位导致；本次调查收集到的大叶鱼藤和云南鱼藤对前人调查结果起到了补充作用。笔者在资源调查中还获得了厚果崖豆藤（*Millettia pachycarpa*）材料 4 份，其中 3 个地理种源材料（鱼藤酮含量分别为 0.029%、0.053%和 0.152%）与广东梅州市蕉岭县材料（鱼藤酮含量 2.24%）的鱼藤酮含量存在巨大差异，推测该物种可能存在不同的亚种，或者在野生条件及引种栽培下产生了突变体材料，该物种后续可以作为研究鱼藤酮生物合成调控途径的优良候选材料进行深入研究。最近，宋柱秋等人通过系统发育分析后将厚果崖豆藤归为鱼藤属（Song & Pan, 2022），中国植物志中还未见采纳，因此该文也暂未将其列入资源调查获得的鱼藤属植物清单中。野外调查发现，大部分鱼藤物种以单株多年生状态存活，说明该属植物的繁殖能力不强。野外调查和试验场地种植观察结果显示，广西本土的鱼藤属植物部分能够开花，但结实率很低，而从热带地区引种的毛鱼藤和异翅鱼藤基本不开花结果，毛鱼藤和异翅鱼藤在原生境本能开花结实（Worsley, 1944），所以，推测植物的无性繁殖和

生长环境改变导致了它们的不育。综上，广西及周边地区具有丰富的鱼藤属植物资源，但是大部分资源的物种更新能力差，数量少，资源调查与保存工作还需加强。

在收集的 14 个物种中，仅毛鱼藤和异翅鱼藤具有较高的鱼藤酮含和较高的应用推广价值。两个物种在桂林地区的栽培结果显示，毛鱼藤和异翅鱼藤生长习性及根中鱼藤酮随生长时期的变化规律都比较相似。Sirichamorn 等人研究证实毛鱼藤和异翅鱼藤在鱼藤属中的亲缘关系较近（Sirichamorn et al., 2012；Sirichamorn et al., 2014），在进化关系上支持了这两个物种相比其他鱼藤属植物都具有较高鱼藤酮含量的生物学现象。张庭英等人测定了广州种植的毛鱼藤根中鱼藤酮含量，结果显示鱼藤酮含量最高在 4 月份，之后迅速下降，持续在较低含量水平（张庭英等，2006）。本研究中，毛鱼藤在桂林地区种植时 6 月份鱼藤酮含量最高，之后一直在较高水平波动。对两地的结果差异性现象进行分析：首先，毛鱼藤栽培种存在不同的种质（Li & Geng, 2015），该文和张庭英等人研究所用的栽培种可能存在种质差异性；其次，桂林和广州的种植环境及气候差异性可能影响了鱼藤酮的积累；第三，鱼藤酮含量达到峰值后会随着根中淀粉的增加而降低（Moreau, 1945），前人研究采用的是超过 10 年生的毛鱼藤，该文采用的是种植第二年的毛鱼藤，材料的年龄影响了鱼藤酮的积累。另外，两个栽培种在桂林越冬均会受到一定程度的霜冻伤害，建议在霜冻来临前修剪地上部分和覆膜来解决，后期也可在广西无霜冻地区进行种植实验，进一步研究这两个物种的应用推广价值。作为植物次生代谢产物，鱼藤酮的积累会受到各种外部和内部环境因素的影响，而具体哪种因素最为关键，还没有相关研究报道。现阶段，急需对调控鱼藤酮生物合成途径的机制进行研究，寻找关键因子，推动鱼藤属植物的品种选育及栽培模式研究。

综上，该文通过实地调查获得了 14 种鱼藤属植物，为鱼藤属植物的物种保存和开发利用奠定了基础。针对 2 种鱼藤酮含量高的物种进行了扦插繁殖实验，获得了 95%以上的成活率。通过鱼藤酮含量测定，明确了鱼藤酮在植株各组织部位的积累规律及季节变化规律。为了获得较高鱼藤酮含量的原材料，建议在 6-9 月份采收，并且收获时尽量去除根头。在桂林市种植的毛鱼藤根中鱼藤酮含量最高达到 14.12%，是原产地的 2 倍，具备很高的开发利用价值；异翅鱼藤的鱼藤酮含量最高达到 6.75%，并且根的生长更迅速、产量更高，也具备较高的开发利用价值。

参考文献：

ASIB N, OMAR D, 2018. Genetic-relatedness of tuba plants from Peninsular Malaysia and quantitative analysis of their rotenone [J]. Int J Bot, 14: 36-42.

BIÑAS Jr EE, 2021. A review on tubli plant used as organic pesticide: input toward sustainable agriculture [J]. Int J Res App Sci Biol, 8(1): 107-115.

MOREAU RE, 1945. *Derris* agronomy: an annotated bibliography and a critical review: part II [J]. Eas Afr Agr J, 10(3): 168-176,

LI H, GENG S, 2015. Assessment of population genetic diversity of *Derris elliptica* (Fabaceae) in China using microsatellite markers [J]. Ind Crops Products, 73: 9-15.

LI Y, WANG ZY, 2010. Research progress on the application and analysis of rotenone[J]. Guangxi J Light Ind, 26(11): 9-10. [李颖，王朱莹，2010. 鱼藤酮应用与分析的研究进展[J]. 广西轻工业，26(11)：9-10.]

Radad K, Al-Shraim M, Al-Emam A, et al, 2019. Rotenone: from modelling to implication in Parkinson's disease [J]. Folia Neuropathol, 57(4): 317-326.

REN MD, 1953. A survey of the insecticidal plant *Derris* and its related species in China[J]. Acta Entomol Sin, 3(2):185-201. [任明道，1953. 国产杀虫植物鱼藤生长情况调查[J]. 昆虫学报，3(2)：185-201.]

SAE-YUN A, OVATLARNPORN C, ITHARAT A, et al., 2006. Extraction of rotenone from *Derris elliptica* and *Derris malaccensis* by pressurized liquid extraction compared with maceration [J]. J Chromatogr A, 1125(2): 172-176.

SIRICHAMORN Y, ADEMA FACB, GRAVENDEEL B, et al., 2012. Phylogeny of palaeotropic *Derris*-like taxa (Fabaceae) based on chloroplast and nuclear DNA sequences shows reorganization of (infra) generic classifications is needed [J]. Amer J Bot, 99(11): 1793-1808.

SIRICHAMORN Y, ADEMA FACB, ROOS MC, et al., 2014. Molecular and morphological phylogenetic reconstruction reveals a new generic delimitation of Asian *Derris* (Fabaceae): reinstatement of *Solori* and synonymisation of *Paraderris* with *Derris* [J]. Taxon, 63: 522-538.

SONG ZQ, PAN B, 2022. Transfer of *Millettia pachycarpa* and *M. entadoides* to *Derris* (Fabaceae), supported by morphological and molecular data [J]. Phytotaxa, 531(3): 230–248.

WANG SY, 2016. Study on dissipation and residue behavior of rotenone and dinotefuran in different vegetables[D]. Guangzhou: South China Agricultural University:1-59. [王世英，2016. 鱼藤酮和呋虫胺在多种蔬菜中的消解规律及影响因素研究[D]. 广州：华南农业大学：1-59.]

WANG Y, MA WL, ZHENG WL, 2013. Deguelin, a novel anti-tumorigenic agent targeting apoptosis, cell cycle arrest and anti-angiogenesis for cancer chemoprevention [J]. Mol Clin Oncol, 1: 215-219.

WEI Z, 1994. *Derris* [M]// Editorial Committee of Chinese Flora, Chinese Academy of Sciences. Flora of China. Beijing: Science Press: 40:191-212. [韦直，1994. 鱼藤属[M]//中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志. 北京：科学出版社：40：191-212.]

WEI YZ, 2005. *Derris* lour.[M]//Guangxi institute of botany, guangxi zhuang autonomous region and the Chinese Academy of Sciences. Flora of guangxi. Nanning: Guangxi Science & technology Publishing House: 2: 607-612. [韦裕宗，2005. 鱼藤属[M]//广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所. 广西植物志. 南宁：广西科学技术出版社：2：607-612.]

WORSLEY RR, 1944. The flowering of *Derris elliptica* [J]. Eas Afr Agr J, 10(1): 6-6.

WU B, 2010. Genetic diversity of *Derris trifoliate* in China and molecular systematic of *Derris*[D]. Guangzhou: South China Agricultural University: 1-74. [吴斌，2010. 中国野生鱼藤的遗传多样性及鱼藤属分子系统学研究[D]. 广州：华南农业大学：1-74.]

WU M, CHEN W, ZHANG S, et al., 2019. Rotenone protects against β-cell apoptosis and attenuates type 1 diabetes mellitus [J]. Apoptosis, 24(11): 879-891.

ZHANG P, QIN D, CHEN J, et al., 2020. Plants in the genus *Tephrosia*: valuable resources for botanical insecticides [J]. Insects, 11(10): 721.

ZHANG TY, XU HH, WANG CH, 2005. Current status of rotenone utilization and existing concerns[J]. Agrochemicals, 8: 352-355. [张庭英，徐汉虹，王长宏，2005. 鱼藤酮的应用现状及存在问题[J]. 农药，8：352-355.]

ZHANG TY, 2006. Studies on the plants containing rotenone and the formulation of 1.2% rotenone micro-emulsion[D]. Guangzhou: South China Agricultural University:1-63. [张庭英，2006. 鱼藤酮的资源植物及鱼藤酮微乳剂的研制[D]. 广州：华南农业大学：1-63.]

ZHANG TY, XU HH, HUANG JG, et al., 2006. Variations of rotenone in different growth stages of plants and regions[J]. J S Chin Agric Univ, 27(3): 48-50. [张庭英，徐汉虹，黄继光，等，2006. 植物中鱼藤酮含量随生长期和地域的变化[J]. 华南农业大学学报，27(3)：48-50.]